

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ДИАПАЗОНА ДАВЛЕНИЙ ГАЗА НА СТОРОНЕ ВСАСЫВАНИЯ ТУРБОМОЛЕКУЛЯРНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА

К.Е. Демихов

А.А. Очков

ked@bmstu.ru

aochkov@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

При проектировании современных вакуумных средств откачки одной из проблем является обоснованный выбор конкретных видов вакуумных насосов для обеспечения требуемых параметров газа на стороне всасывания, например, диапазона давлений откачиваемого газа. В настоящее время широкое распространение получили турбомолекулярные вакуумные насосы, имеющие весомые преимущества перед другими средствами откачки. На основании созданных в МГТУ им. Н.Э. Баумана методов расчета проведены исследования по определению диапазона давлений газа на всасывании, в котором турбомолекулярные вакуумные насосы являются предпочтительными при обеспечении оптимальных характеристик. Даны рекомендации по выбору диапазона рабочих давлений турбомолекулярных вакуумных насосов, в котором они наиболее эффективны по сравнению с другими видами вакуумных средств откачки

Ключевые слова

Турбомолекулярный вакуумный насос, откачная характеристика, давление газа, сторона всасывания насоса

Поступила в редакцию 27.05.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016

Выбор наиболее эффективного диапазона работы вакуумного насоса всегда является важной и актуальной проблемой в вакуумной технике. Каждому виду вакуумных средств откачки в зависимости от физических принципов действия соответствует определенный диапазон рабочих параметров по условиям всасывания. Именно это обстоятельство — важный критерий при выборе конкретного вида вакуумного насоса для конкретного случая. Причем для каждого средства откачки существует также определенный собственный диапазон возможного изменения рабочих параметров на стороне всасывания, который обеспечивает достаточную эффективность его работы с учетом соответствующих критериев оценки.

Очевидным достоинством турбомолекулярных вакуумных насосов (ТМН) является достаточно широкий диапазон возможного обеспечения давлений газа на стороне всасывания [1–9]. Причем абсолютные значения давления всасывания зависят от целого ряда факторов: рода газа, геометрических параметров насоса, величины внутренних газовыделений материалов, из которых изготовлена проточная часть насоса.

В настоящей работе рассматривается проблема выбора диапазона давлений газа, создаваемого на стороне всасывания ТМН, являющегося приемлемым для данного вида насоса с учетом таких критериев, как массогабаритные параметры и требуемые откачные характеристики (зависимость быстроты откачки S_n от давления всасывания: $S_n = f(p_{вс})$). При этом обязательным условием является обеспечение быстроты откачки не меньше заданного значения S_p в определенном диапазоне давлений $p_{вс}$.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана разработан метод расчета оптимальных параметров проточной части ТМН, обеспечивающих требуемое значение быстроты откачки S_p при различных значениях давления газа на стороне всасывания [10]. На основании данного метода создана программа расчета оптимальных размеров и структуры проточной части ТМН при условии обеспечения заданного значения быстроты откачки S_p во всем выбранном диапазоне давлений. При этом, как показали проведенные исследования, возможно превышение S_p на определенном участке откачной характеристики с тем, чтобы выдержать указанное требование для всего заданного диапазона давлений газа. Следует отметить, что разработанная программа расчета обеспечивает минимизацию условного объема проточной части A ($A = \frac{\pi D_2^2}{4} N$, где D_2 — наружный диаметр рабочих колес; N — число колес в пакете), а также минимальное отклонение максимального значения быстроты откачки S_n (соответствующей откачной характеристике) от заданного значения S_p . Результаты выполненных расчетов для трех вариантов ТМН приведены в таблице. Вариант *а* — номинальное значение быстроты откачки $S_p = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, вариант *б* — $S_p = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$, вариант *в* — $S_p = 5 \text{ м}^3/\text{с}$. Рабочий газ — азот, удельное газовыделение с поверхностей вала и ротора (выполненных из стали) составляет $q = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot \text{Па}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$, с поверхностей рабочих колес в пакете проточной части (выполненных из алюминиевого сплава) — $q = 1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \cdot \text{Па}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ [11].

Влияние диапазона рабочих давлений газа на быстроту откачки S_n

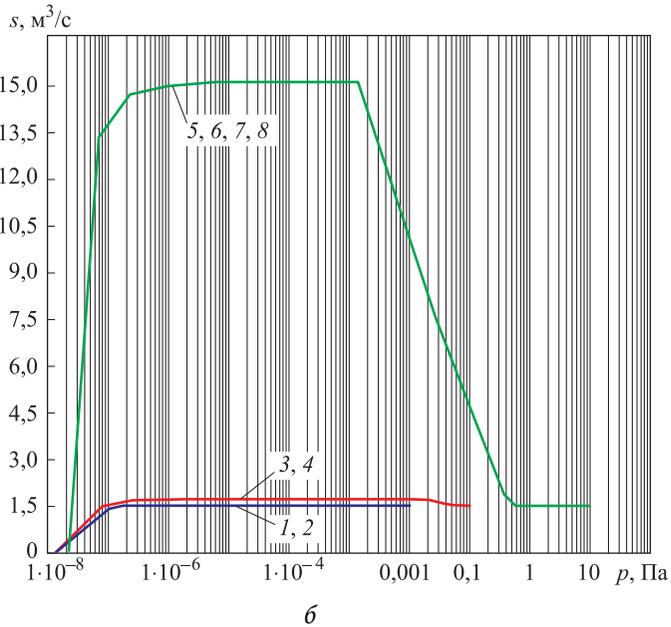
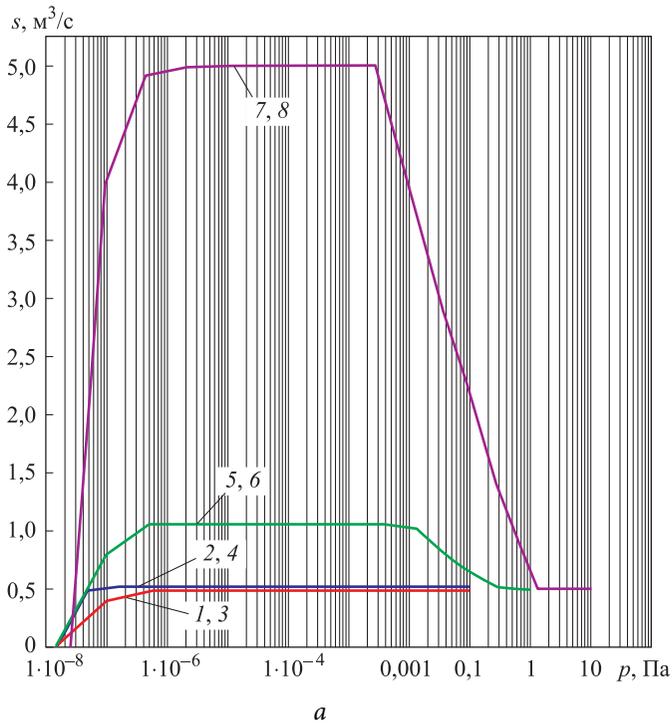
Заданный диапазон рабочих давлений газа, Па	Максимальная быстрота откачки S_n , $\text{м}^3/\text{с}$	Условный объем проточной части A , м^2	Наружный диаметр колес D_2 , м	Число рабочих колес в пакете N
Вариант <i>а</i>				
$10^{-6} \dots 10^{-2}$	0,5	0,457	0,185	17
$10^{-7} \dots 10^{-2}$	0,53	0,482	0,190	17
$10^{-6} \dots 10^{-1}$	0,5	0,457	0,185	17
$10^{-7} \dots 10^{-1}$	0,53	0,482	0,190	17
$10^{-6} \dots 1$	1,055	1,088	0,270	19
$10^{-7} \dots 1$	1,055	1,088	0,270	19
$10^{-6} \dots 10$	5,0	7,662	0,580	29
$10^{-7} \dots 10$	5,0	7,662	0,580	29

Заданный диапазон рабочих давлений газа, Па	Максимальная быстрота откачки S_n , м ³ /с	Условный объем проточной части A , м ²	Наружный диаметр колес D_2 , м	Число рабочих колес в пакете N
Вариант б				
$10^{-6} \dots 10^{-2}$	1,5	1,367	0,320	17
$10^{-7} \dots 10^{-2}$	1,5	1,367	0,320	17
$10^{-6} \dots 10^{-1}$	1,66	1,498	0,335	17
$10^{-7} \dots 10^{-1}$	1,66	1,498	0,335	17
$10^{-6} \dots 1$	15	18,064	1,0	23
$10^{-7} \dots 1$	15	18,064	1,0	23
$10^{-6} \dots 10$	15	24,35	1,0	31
$10^{-7} \dots 10$	15	24,35	1,0	31
Вариант в				
$10^{-6} \dots 10^{-2}$	5,0	4,49	0,580	17
$10^{-7} \dots 10^{-2}$	5,05	4,57	0,585	17
$10^{-6} \dots 10^{-1}$	8,2	7,31	0,740	17
$10^{-7} \dots 10^{-1}$	8,2	7,31	0,740	17
$10^{-6} \dots 1$	50,0	70,63	1,825	27
$10^{-7} \dots 1$	50,0	70,63	1,825	27
$10^{-6} \dots 10$	50,0	91,56	1,825	35
$10^{-7} \dots 10$	50,0	91,56	1,825	35

Общий вид откачных характеристик турбомолекулярных вакуумных насосов с номинальными значениями быстроты откачки $S_p = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ и $S_p = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ в разных диапазонах давлений газа представлены соответственно на рисунке.

Как следует из таблицы, при увеличении наибольшего в диапазоне давления газа (от 10^{-2} до 10 Па) необходимая максимальная быстрота откачки S_n (для обеспечения номинального значения S_p во всем диапазоне) возрастает примерно в 10 раз, минимальный условный объем проточной части — в 17–20 раз. Это вызвано нарушением молекулярного режима течения газа в значительной части объема проточной части ТМН и необходимостью компенсировать ухудшение параметров откачки рабочими колесами (увеличением геометрических размеров) [1]. Причем для насосов с большей быстротой действия этот процесс начинается уже при давлении более 10^{-2} Па, в то время как для малых насосов при $p > 10^{-1}$ Па.

При необходимости реализации поставленного условия в области достаточно низких давлений газа ($10^{-6} \dots 10^{-7}$ Па) возникает проблема, связанная с увеличением дополнительных потоков газа на стороне всасывания в результате газовыделений с внутренних поверхностей насоса. Это может привести к необ-



Откачные характеристики насосов с номинальным значением быстроты откачки $S_p = 0,5$ (а) и $1,5$ (б) $\text{м}^3/\text{с}$ в различных диапазонах давлений газа на всасывании (см. таблицу, варианты а и б)

ходимости повышения параметров откачки рабочих колес (например, из-за увеличения их геометрических размеров), особенно для насосов с относительно малой быстротой действия (см. таблицу, вариант а).

Поэтому смещение откачной характеристики ТМН в область низких давлений газа вряд ли может быть оправданным.

Таким образом, наиболее эффективным диапазоном рабочих давлений газа на стороне всасывания ТМН с оптимальными характеристиками можно считать диапазон $p_{вс} = 10^{-6} \dots 10^{-1}$ (10^{-2}) Па.

Если необходимо расширить диапазон создаваемых в откачиваемом объеме давлений, то следует предусматривать использование в совокупности с ТМН других видов средств откачки, отличающихся эффективной работой при соответствующих значениях давления газа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демихов К.Е., Никулин Н.К. Оптимизация высоковакуумных механических насосов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 255 с.
2. Справочник по вакуумной технике и технологиям / под ред. Д. Хоффман, Б. Сингха, Дж. Томаса. М.: Техносфера, 2011. 736 с.
3. Вакуумная техника: Справочник / К.Е. Демихов, Ю.В. Панфилов, Н.К. Никулин и др. / под общ. ред. К.Е. Демихова, Ю.В. Панфилова. М.: Машиностроение, 2009. 590 с.
4. Розанов Л.Н. Вакуумная техника. М.: Высш. шк., 2007. 390 с.
5. *Product Leitfadens*. Alcatel Hochvakuumtechnik. GmbH, Anncy, 1995.
6. *Komponenten für die Vakuumtechnik*, Balzers-Pfeiffer. GmbH, Balzers, 1996.
7. *Vakuum catalog*. Edwards. Hochvakuum. GmbH, Marburg, 1993.
8. *Katalog HV300*, Teil B., Leybold AG. Cologne, 1994.
9. *Vacuum product catalog*. Varian Ass, Lexington, 1995–1998.
10. Демихов К.Е. Особенности оптимизации проточной части высоковакуумных механических насосов в широком диапазоне давлений // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2012. № 3. С. 80–86.
11. Пипко А.И., Плисковский В.Я., Пенчко Е.А. Конструирование и расчет вакуумных систем. М.: Энергия, 1970. 504 с.

Демихов Константин Евгеньевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Вакуумная и компрессорная техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Очков Андрей Андреевич — аспирант, ассистент кафедры «Вакуумная и компрессорная техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская, д. 5).

Пробьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Демихов К.Е., Очков А.А. Определение эффективного диапазона давлений газа на стороне всасывания турбомолекулярного вакуумного насоса // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2016. № 5. С. 89–95. DOI: 10.18698/0236-3941-2016-5-89-95

EFFECTIVE RANGE OF GAS PRESSURE AT THE SUCTION SIDE OF THE TURBOMOLECULAR VACUUM PUMP

K.E. Demikhov
A.A. Ochkov

ked@bmstu.ru
aochkov@bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The choice of a vacuum pump type is crucial for the right gas parameters at the suction side such as, for example, gas pressure range. Currently the most widespread pumps are turbomolecular vacuum ones. They have salient advantages in efficiency over the competition at a certain gas pressure range. Based on the calculation method designed at Bauman Moscow State Technical University we conducted the research of gas pressure range estimation at the suction side of the pump. This paper offers recommendations as to how to choose the working range of gas pressure for turbomolecular vacuum pumps

Keywords

Turbomolecular vacuum pump, pump parameter, gas pressure, suction side of the pump

REFERENCES

- [1] Demikhov K.E., Nikulin N.K. Optimizatsiya vysokovakuumnykh mekhanicheskikh nasosov [Optimization of high-vacuum mechanical pump]. Moscow, MGTU im. N.E. Baumana Publ., 2010. 255 p.
- [2] Handbook of vacuum science and technology. Ed. by D. Hoffman, B. Singh, J. Thomas. Academic Press, 1998.
- [3] Demikhov K.E., Panfilov Yu.V., Nikulin N.K. Vakuumnaya tekhnika: Spravochnik [Vacuum technology. Handbook]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2009. 590 p.
- [4] Rozanov L.N. Vakuumnaya tekhnika [Vacuum technology]. Moscow, Vyssh. shkola Publ., 2007. 390 p.
- [5] Product Leitfaden. Alcatel Hochvakuumtechnik. GmbH, Annecy, 1995.
- [6] Komponenten für die Vakuumtechnik, Balzers-Pfeiffer. GmbH, Balzers, 1996.
- [7] Vakuum catalog. Edwards. Hochvakuum. GmbH, Marburg, 1993.
- [8] Katalog HV300, Teil B., Leybold AG. Cologne, 1994.
- [9] Vacuum product catalog. Varian Ass, Lexington, 1995–1998.
- [10] Demikhov K.E. Peculiarities of optimization of flow part of high-vacuum mechanical pumps in the wide pressure ran. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2012, no. 3, pp. 80–86 (in Russ.).
- [11] Pipko A.I., Pliskovskiy V.Ya., Penchko E.A. Konstruirovaniye i raschet vakuumnykh sistem [The Design and calculations of vacuum systems]. Moscow, Energiya Publ., 1970. 504 p.

Demikhov K.E. — Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Vacuum and Compressor Equipment Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Ochkov A.A. — post-graduate student, Assistant Lecturer of Vacuum and Compressor Equipment Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Demikhov K.E., Ochkov A.A. Effective Range of Gas Pressure at the Suction Side of the Turbomolecular Vacuum Pump. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2016, no. 5, pp. 89–95. DOI: 10.18698/0236-3941-2016-5-89-95